

Matúš KOVÁČ¹, Peter KOTEK², Martin DECKÝ³

**KONVENČNÉ A NEKONVENČNÉ ZARIADENIA NA MERANIE MAKROTEXTÚRY
POVRCHU VOZOVKY**

**CONVENTIONAL AND NON-CONVENTIONAL EQUIPMENT FOR PAVEMENT SURFACE
MACROTEXTURE MEASURING**

Abstrakt

Príspevok sa venuje meraniu makrotextúry vozovky na rozdielnych asfaltových povrchoch. Na merania textúry povrchu vozovky boli použité dve rozdielne pracujúce zariadenia. Profilograph GE predstavuje kontinuálne pracujúce zariadenie zo Slovenskej správy ciest a zariadenie ZScanner®800 je ručný laserový skener vo vlastníctve Žilinskej univerzity. Ako hodnotiaci parameter makrotextúry bol zvolený celosvetovo používaný parameter *MPD*.

Kľúčové slova

Povrch vozovky, Macrotextúra, Profil, 3D Skenovanie.

Abstract

The article deals with the surface macrotexture measurement on various asphalt pavements. For the macrotexture measurement were used two differently working devices. The Profilograph GE is a continually working device owned by Slovak road administration. The ZScanner® 800 is a hand-operated laser 3D scanner, which is the property of University of Zilina. As a characteristic for pavement texture evaluation was chosen the worldwide used parameter *MPD*.

Keywords

Pavement surface, Macrotexture, Profile, 3D Scanning.

1 ÚVOD

Textúra povrchu vozovky je daná usporiadaním jednotlivých výstupkov materiálu tvoriaceho povrch vozovky. Predstavuje kľúčovú zložku interakcie pneumatiky vozidla s vozovkou. Na základe stanovených dĺžok a amplitúd vlny na XVIII. cestnom svetovom kongrese v Bruseli [1] sa textúra člení na mikro-, makro- a megatextúru. Pričom všetky kategórie textúry pôsobia na kontaktnú plochu pneumatiky vozidla s povrchom vozovky. Jednotlivé rozsahy vlnových dĺžok spolu s amplitúdami sú zobrazené v tab. 1.

¹ Doc. Ing. Matúš Kováč, PhD., Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +42141/513 5910, e-mail: matus.kovac@fstav.uniza.sk.

² Ing. Peter Koteck, Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +42141/513 5930, e-mail: peter.kotek@fstav.uniza.sk.

³ Prof. Dr. Ing. Martin Decký, Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +42141/513 5907, e-mail: martin.decky@fstav.uniza.sk.

Tab. 1: Rozsahy hodnôt pre vybrané charakteristiky textúry

<i>Textúra</i>	<i>Vlnová dĺžka</i>	<i>Amplitúda</i>
<i>Mikrotextúra</i>	0,001 – 0,5	0,001 – 0,5
<i>Makrotextúra</i>	0,5 – 50	0,1 – 20
<i>Megatextúra</i>	50 – 500	0,1 - 50

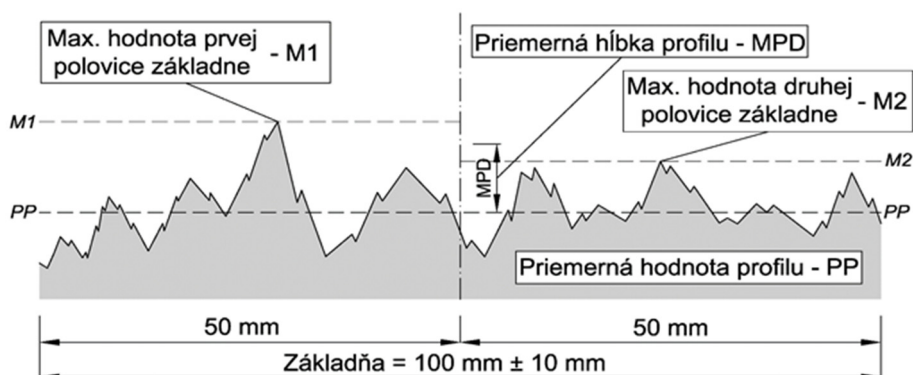
Príspevok je zameraný na meranie a hodnotenie makrotextúry povrchu vozovky. Makrotextúra povrchu vozovky napomáha rýchlemu odtoku vody z povrchu, je zodpovedná za úroveň hysterézneho zložky trenia a má, z hľadiska bezpečnosti premávky, dôležitú úlohu hlavne pri stredných a vyšších rýchlostiach jazdy vozidiel. Samotnú makrotextúru vytvára usporiadanie jednotlivých zŕn kameniva na povrchu vozovky a je podmienené vlastnosťami kostry asfaltovej zmesi, čiže zastúpením jednotlivých frakcií použitého kameniva.

Ako hodnotiaci parameter v príspevku bola zvolená priemerná hĺbka profilu *MPD* (Mean Profile Depth). Ide o celosvetovo používaný parameter uplatňovaný pri hodnotení makrotextúry povrchu vozovky.

1.1 Priemerná hĺbka profilu - *MPD*

Metóda je založená na meraní krivky profilu povrchu s rozsahom zaznamenávaných nerovností definovaných pre makrotextúru a následnom spracovaní dát, kde na základe predpísaného postupu, získavame hodnoty priemernej hĺbky profilu (*MPD*), ktoré sú ďalej pre meraný úsek počítané ako priemerné hodnoty za určitý, operátorom zvolený krok [1].

Princíp výpočtu spočíva v rozdelení profilu na základne s dĺžkou 100 ± 10 mm a ich ďalším rozdelením na dve rovnaké časti. Po zistení maximálnych hodnôt profilu z oboch polovic základne sa nakoniec ešte určí priemerná hodnota profilu zo všetkých nameraných hodnôt profilu na celej dĺžke základne. Princíp výpočtu priemernej hĺbky profilu je zobrazený na obr.1.



Obr. 1: Princíp výpočtu priemernej hĺbky profilu - *MPD*

Priemerná hĺbka profilu *MPD* sa pre každý meraný profil vypočíta ako rozdiel aritmetického priemeru dvoch najvyšších hodnôt a priemernej hodnoty profilu [2].

$$MPD = \frac{M1 + M2}{2} - PP \quad [\text{mm}]$$

kde: M1 – maximálna hodnota prvej polovice základne [mm],
M2 – maximálna hodnota druhej polovice základne [mm],
PP – priemerná hodnota profilu [mm].

2 ZÁZNAMOVÉ ZARIADENIA

2.1 Profilograph GE

Profilograph GE (obr. 2) je zariadenie dánskeho výrobcu Greenwood Engineering A/S, ktoré primárne slúži na meranie nerovnosti vozoviek, ale umožňuje taktiež meranie makrotextúry povrchu vozovky. Zariadenie pozostáva z meracieho nosníka upevneného na automobil, opatreného pätnástimi laserovými snímačmi na meranie nerovnosti vozovky a jedného laserového snímača na meranie makrotextúry. Zabezpečenie ustálenej polohy nosníka počas merania zabezpečuje inerciálna jednotka vybavená dvomi gyroskopmi odstraňujúcimi húpanie a nakláňanie nosníka a tromi akcelerátormi zaznamenávajúcimi kmitanie nosníka v pozdĺžnom, priečnom a zvislom smere. Na meranie presnej vzdialenosti, ktorú vozidlo prejde slúži odometer umiestnený na ľavom zadnom kolese nosného vozidla. Vozidlo je tiež doplnené GPS modulom na určenie jeho presnej polohy. Technická špecifikácia laseru na meranie textúry je uvedená v tab. 2.



Obr. 2: Zariadenie Profilograph GE spolu so záznamovým počítačom

Meranie je možné vykonávať pri rýchlostiach od 20 do 110 km/h na čistom a suchom povrchu vozovky, pričom nemusí byť zabezpečená konštantná rýchlosť počas merania. Celé meranie a zaznamenávanie je realizované dodaným softvérom na zaznamenávanie dát v reálnom čase.

Tab. 2: Technická špecifikácia laseru na meranie textúry - LMI SELCOM typ 2207

<i>Vzorkovacia frekvencia:</i>	62,5 kHz
<i>Šírka pásma signálu:</i>	20 kHz
<i>Vzdialenosť od povrchu:</i>	260 mm
<i>Merací rozsah:</i>	155 mm

2.2 ZScanner®800

ZScanner je ďalšia vývojová rada skenerov firmy Z Corporation. Ide o ručný, laserový skener s vysokým rozlíšením, ktorý umožňuje vzájomný pohyb skenovaného povrchu objektu a skenera počas snímania (obr. 3). Skenovanie prebieha pomocou troch kamier, ktoré pri skenovaní snímajú laserový červený kríž. Veľkou výhodou tohto typu skenera je, že nepotrebuje žiadne externé mechanizmy fixácie, alebo nastavenia pozície, ktoré komplikujú skenovanie. Skenovaný povrch objektu sa okamžite zobrazuje na monitore počítača, čo umožňuje sledovať dôslednosť skenovania povrchu, a prípadne doskenovať miesta, ktoré nie sú až tak podrobne naskenované [3]. Skener je dodávaný so štandardným softwarovým vybavením „VXelements- 3D Digitizing Software“. Technická špecifikácia 3D skeneru je uvedená v tab. 3.



Obr. 3: 3D skener spolu so záznamovým softvérom

Zapamätanie si presnej pozície skenovaného povrchu je založené na prvotnom zoskenovaní pozície reflexných bodov. Systém si následne zapamätá ich pozíciu čo im umožňuje byť použité ako polohovací súradnicový systém. Celé snímanie je založené na princípe triangulácie. Ak tri kamery súčasne vidia minimálne 4 reflexné body, je systém schopný automaticky určiť polohu snímaného bodu. Každý bod má svoju jedinečnú súradnicu X, Y, Z. Výsledná sieť bodov je automaticky prepočítavaná na základe nasnímanej polohy jednotlivých bodov podľa zvoleného rozlíšenia. Pričom počas skenovania je možné zvyšovať presnosť skenovania zmenou rozlíšenia. Softvérové prostredie skeneru je schopné zaznamenávať všetky snímania povrchu a vďaka tomu je možné dáta neustále spresňovať a upravovať. Softvér umožňuje export skenovaného povrchu do viacerých dátových výstupov (.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zfp), s ktorými je možné následne pracovať.

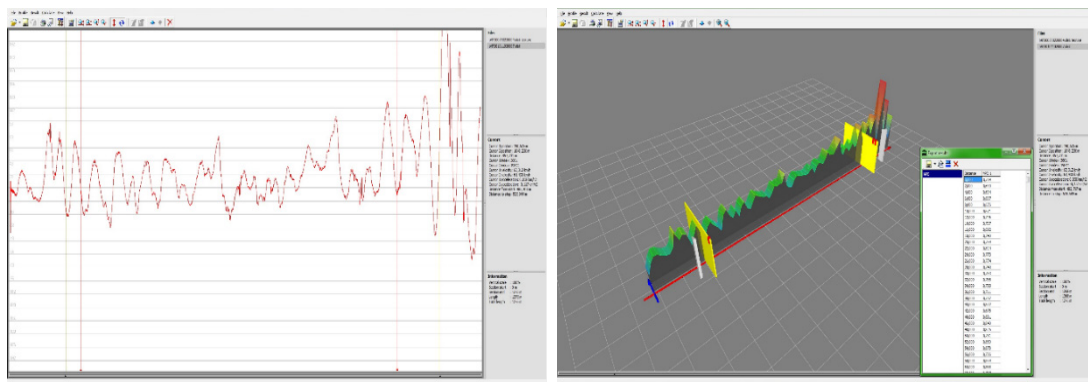
Tab. 3: Technická špecifikácia 3D skenera ZScanner 800®

Váha/ Rozmery:	1.25 kg/171 x 260 x 216 mm	Rozlíšenie :	do 50 mikrónov
Rýchlosť snímania:	25 000 meraní/s	Presnosť XY:	do 40 mikrónov
Trieda lasera:	II (bezpečný pre oči)	Dátový prenos:	FireWire
Počet kamier:	3	Hĺbka poľa:	30 cm

3 ANALÝZA A SPRACOVANIE VÝSLEDKOV

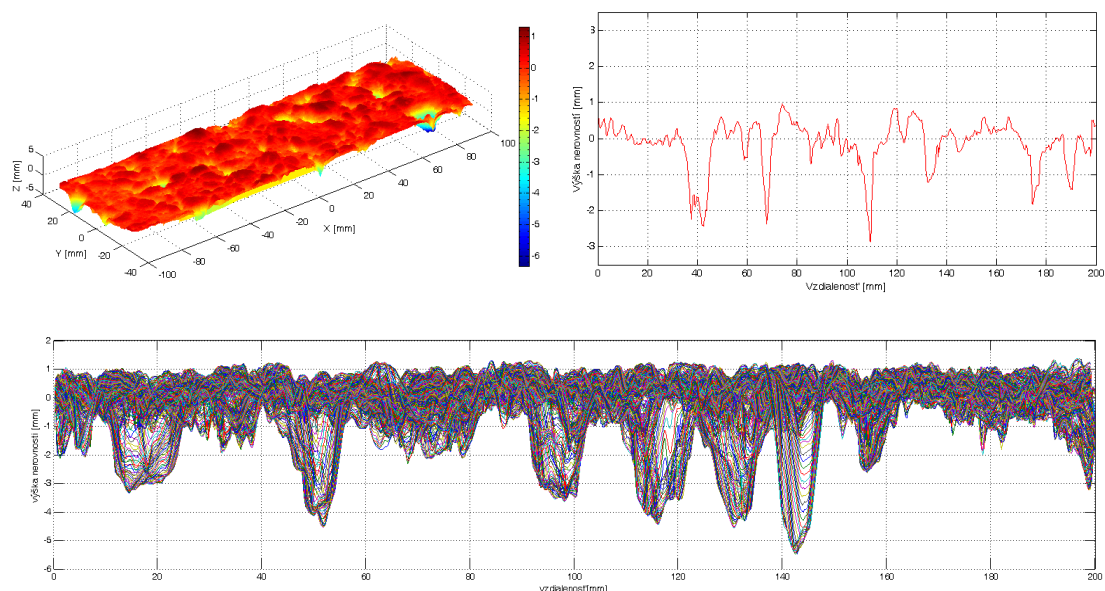
Merania boli realizované na piatich vybraných úsekoch ciest s rozdielnym asfaltovým povrchom. Vybrané úseky na meranie sa vyznačujú rovnakou dĺžkou, približne 100m. Táto dĺžka sa dá považovať za dostačujúcu pre získanie informácie o hodnote makrotextúry povrchu zo zariadenia Profilograph GE. Z 3D skenerom boli vykonané merania v 10 bodoch v rovnakej stope ako pri profilografе, čo sa dá pokladať tiež za dostačujúce pre získanie informácie o hodnote makrotextúry daného povrchu.

Vyhodnotenie nazbieraných dát z Profilograph GE o makrotextúre povrchu vozovky prebieha v dodávanom softvérovom prostredí programu Profilograph for Windows (obr. 4). Program posudzuje makrotextúru povrchu vozovky pomocou parametra priemernej hĺbky profilu *MPD* (na základe zvoleného hodnotiaceho intervalu. Hodnotiaci interval musí byť ale väčší ako 100 mm, čo vyplýva zo samotnej definície výpočtu parametra *MPD* uvedenej v kapitole 1.1.



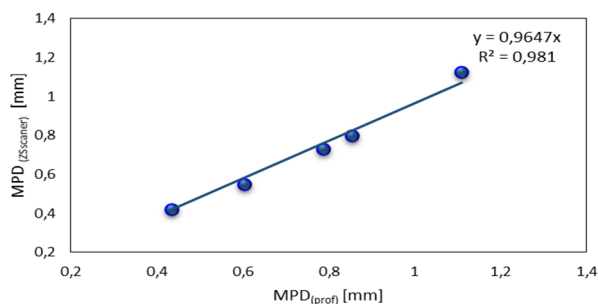
Obr. 4: Príklad profilu, z ktorého sa počíta *MPD* v programe Profilograph for Windows

Spracovanie nazbieraných dát 3D skenera prebiehalo v programovom prostredí MATLAB® [4]. Samotné programové prostredie je založené na práci z maticami a umožňuje okrem iného vedecko-technické výpočty, návrhy algoritmov, analýzu a prezentáciu dát [5]. Skenovanie povrchu prebiehalo pri rozlíšení 0,2 mm, pričom skenovaná plocha povrchu bola zvolená o rozmere 200x60 mm. Pri zvolenom rozlíšení 0,2 mm a šírke skenovanej plochy 60 mm to činí 300 profilov dĺžky 200 mm. Pričom výpočet *MPD* prebiehal na základni dlhej 100 mm, čo predstavuje 600 stanovených hodnôt priemernej hĺbky profilu na jednom meracom bode. Výstupy z prostredia MATLAB® sú vyobrazené na obr. 5.



Obr. 5: Výstupy z programu MATLAB®: a) skenovaný povrch , b) profil textúry, c) všetky profile

Po spracovaní získaných dát je možné vykonať porovnanie získaných výstupov z oboch zariadení. Na základe dosiahnutej hodnoty korelačného koeficientu (r) medzi hodnotami *MPD* z 3D skenera a profilografu $r = 0,993$ je možné konštatovať, že existuje veľmi vysoká miera korelácie. Umocnením korelačného koeficientu získame koeficient determinácie (R^2), ktorý reprezentuje proporciu spoločného rozptylu $R^2 = 0,981$ a hovorí o tom, ako zmena jednej premennej ovplyvní druhú. Po prenásobení 100 udáva zmenu v percentách. Zistená závislosť je zobrazená na obr. 6.



Obr. 6: Porovnanie priemernej hĺbky textúry medzi zariadeniami

4 ZÁVER

Príspevok sa venoval porovnaniu dvoch zariadení umožňujúcich laserové snímanie makrotextúry povrchu. Veľkou výhodou laserového skenovania textúry povrchu vozovky je, že namerané údaje nie sú zaťažené takým množstvom okrajových podmienok ako je to u iných metód merania textúry. Profilograph GE je súvisle pracujúce zariadenie slúžiace na získanie profilu textúry daného povrchu. Zatiaľ čo 3D skener umožňuje jednoduché trojrozmerné bodového meranie textúry povrchu vozovky, ktoré prináša lepšie vystihnúť stavu makrotextúry, čo zabezpečuje aj jej správnejšie vyhodnotenie. Dáta z merania 3D skenera je možné spracovať podľa rôznych požadovaných kritérií, ako napr. z hľadiska valivého odporu, produkcie emisií hluku a pod. Trojrozmerné skenovanie textúry povrchu vozovky môže pomôcť k objektívnejšiemu hodnoteniu kvality povrchov vozoviek. So súčasným rýchlym vývojom nových technológií bude hádam možné v budúcnosti využiť také laserové snímanie textúry, ktoré umožní nielen meranie makrotextúry povrchu vozovky, ale aj zachytenie mikrotextúry povrchu kameniva vozovky.

LITERATÚRA

- [1] STN EN 13473-1 (73 6177) Charakterizovanie textúry vozovky s použitím profilov povrchu. Časť 1: Stanovenie priemernej hĺbky profilu.
- [2] CHEN, De, Nima Roohi SEFIDMAZGI a Hussain BAHIA. Exploring the feasibility of evaluating asphalt pavement surface macro-texture using image-based texture analysis method. Road Materials and Pavement Design [online]. 2015, s. 1-16 [cit. 2015-04-09]. DOI: 10.1080/14680629.2015.1016547.
- [3] SLABEJ, M. – GRINČ, M. 2014. 3D Road Surface Model for Monitoring of Transfere Unevenness and Skid Resistance. In: ICTTE 2014: International Conference on Traffic and Transport Engineering Belgrade: City Net Scientific Research Center, 2014. ISBN 978-86-916153-1-4. p. 616-621.
- [4] REMIŠOVÁ, E. et al. 2014. The influence of the asphalt mixture composition on the pavement surface texture and noise emissions production. In: SGEM 2014 : 14th international multidisciplinary scientific geoconference : geoConference on energy and clean technologies : conference proceedings. Sofia: STEF92 Technology, 2014. ISBN 978-619-7105-16-2. p. 249-256.
- [5] MAHBOOB KANAFI, Mona, Antti KUOSMANEN, Terhi K PELLINEN a Ari Juhani TUONONEN. Macro- and micro-texture evolution of road pavements and correlation with friction. *International Journal of Pavement Engineering*. 2014-06-11, vol. 16, issue 2, s. 168-179. DOI:10.1080/10298436.2014.937715.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Jan Kudrna, CSc., Ústav pozemních komunikací, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Ing. Jiří Šmíd, Ph.D., Ředitelství silnic a dálnic ČR, Úsek kontroly kvality staveb, Praha.